

EVALUASI KARAKTERISTIK ENERGY TORQUE CONVERTER BERDASARKAN PENGARUH RASIO PUTARAN TERHADAP KOEFESIEN TORSI DAN EFESIENSI

W. M. Rumaherang

e-mail: max.rumaherang@fatek.unpatti.ac.id, maxrumaherang72@gmail.com

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pattimura

Jl. Ir.M. Putuhena, Kampus Poka Ambon.

ABSTRAK

Konverter torsi berfungsi mimdahkan daya dari motor induk ke system transmisi secara halus dan effisien yang ditunjukkan melalui karakteristik energinya. Karakteristik-karakteristik converter torsi dinyatakan sebagai hubungan antara parameter-parameter eksternal, yaitu hubungan moment putar poros-poros, daya dan kecepatan putar (putaran) serta efisiensi terhadap rasio kecepatan. Dalam penelitian ini dilakukan uji karakteristik converter torsi yaitu pengaruh perubahan rasio putaran terhadap rasio torsi dan kapasitas torsi dan efisiensi. Putaran pompa tidak dapa dijaga konstan untuk berbagai variasi beban dan bervariasi dari 200 – 500 rpm. Putaran turbin selalu lebih kecil dari putaran pompa, yang menandakan bahwa terjadi slip antara fluida kerja pada ruang clearance antara impeller dan roda turbin. Pada saat beban output meningkat, maka kecepatan impeller turbin akan melambat. Momen yang dibutuhkan menggerakkan turbin lebih besar, kemudian menurun dengan naiknya rasio putaran. Semakin tinggi putaran turbin, maka torsi yang dibutuhkan poros beban menjadi lebih kecil. Rasio torsi hasil experimental telah mencapai hasil yang mendekati hasil perhitungan teoritis. Efisiensi konveter torsi naik sesuai dengan kenaikan rasio putaran dan mencapai maksimum pada maksimum nilai rasio putaran.

Kata kunci: converte torsi, rasio putaran, rasio torsi, factor kapasitas, efisiensi

1. PENDAHULUAN

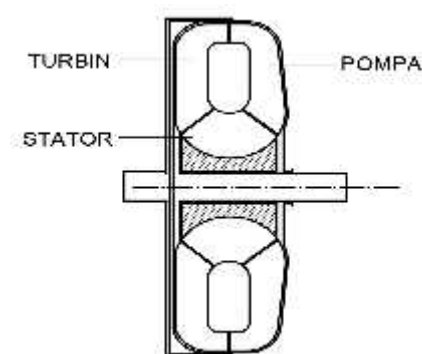
Konverter torsi adalah salah satu komponen utama dalam system transmisi yang digunakan secara luas untuk berbagai aplikasi permesinan yang membutuhkan transmisi daya secara halus, seperti pada automobil dan *loader industry*. Fungsi utama dari converter torsi memindahkan daya dari motor induk ke system transmisi secara halus dengan meredam getaran puntir engine (Hadi Adibi dkk, 2014) sehingga mesin berputar secara halus dan effisien (Kim dkk, 2012).

Sebuah converter torsi terdiri dari tiga komponen utama, yaitu pompa (*prime mover*), turbin yang secara mendasar merupakan rangkaian vane berputar dan sebuah stator. Walaupun dimensi dan sifat-sifat fisiknya berbeda satu dari yang lainnya namun secara dinamis mereka sama. (Joydeep dkk, 2012). Pompa tersambung pada poros mesin penggerak sedangkan turbin yang dihubungkan pada poros beban. Stator ditempatkan antara pompa dan turbin untuk mengarahkan cairan kembali dari turbin ke pompa. (Hadi Adibi dkk, 2014).

Poros input, impeller pompa, blade-blade stator dan turbin terhubung dengan poros output secara koaksial.

Ketiga komponen membentuk torus di dalam rangkaian hidrodinamik yang diisi dengan fluida kerja berupa oli hidrolik. Perangkat ini biasanya dilengkapi dengan sistem pendingin untuk menghilangkan panas yang dibangkitkan (M.

B rgl zan dkk, 2007).



Gambar 1. Skema konverter torsi

Pengoperasian converter torsi dapat digambarkan sebagai pompa hidrolik yang menggerakkan turbin hidrolik. Torsi dari mesin menggerakkan pompa yang memberikan energi ke fluida hidrolik dalam sistem. Fluida hidrolik mengalir melalui konstruksi turbin dan membuatnya berputar sehingga mentransmisikan torsi yang berasal dari engine ke seluruh sistem transmisi (Jaydeep dkk, 2015).

Studi karakteristik transmisi hidrodinamik dapat dilakukan secara experimental di laboratorium maupun simulasi dimana dengan akurasi tinggi, yang kesalahan relatifnya kurang dari 2% (W. M. rumaherang 2015).

Karakteristik-karakteristik converter torsi dinyatakan sebagai hubungan antara parameter-

parameter eksternal, yaitu hubungan moment putar poros-poros, daya dan kecepatan putar (putaran) serta efisiensi terhadap rasio kecepatan (Void Turbo, 2009). Karakteristik transmisi hidrodinamik juga dinyatakan sebagai hubungan antara parameter-parameter aliran yaitu kapasitas aliran, kecepatan dan tekanan fluida kerja pada blade-blade impeller pompa dan turbin terhadap perbandingan putara atau rasio kecepatan (Shoab dkk 2012, Hadi, dkk 2014).

Brglzan dkk, 2007, melakukan pengujian pada converter torsi CHC-350 untuk menggambarkan karakteristik utama yaitu efisiensi konverter torsi sebagai fungsi kecepatan n_1 dan n_2 dan torsi turbin, M_2 , dan pompa, M_1 dan menggambarkan karakteristik universal system ini.

Selain itu beberapa studi dilakukan juga untuk menggambarkan karakteristik converter torsi sebagai hubungan ketergantungan rasio dan kapasitas torsi terhadap perbandingan putaran turbin dan pompa (Kyoung dkk, 2008), dan karakteristik kavitasnya serta hubungan koefisien transmisi K dengan rasio putaran.

Dalam penelitian ini dilakukan uji karakteristik converter torsi untuk melukis pengaruh perubahan parameter putaran terhadap koefisien torsi, rasio torsi dan kapasitas torsi sebagai unjuk kerja dengan menggambarkan karakteristik converter torsi.

1. TINJAUAN PUSTAKA

1.1. Energy spesifik aliran

Konverter torsi disebut sebagai transmisi hidrodinamik yang mentransformasikan momen putar yang diberikan (Artemyeva, 2006). Elemen utama konverter torsi terdiri dari dua elemen berputar yaitu pompa dan turbin serta satu elemen stator. Prinsip kerja converter torsi secara sederhana sama dengan kopling hidrodinamik yang ditambah dengan blade stator yang mengubah momentum sudut dari fluida yang melewatinya.

Berdasarkan persamaan euler, maka energi yang dikonversikan dari pompa ke fluida adalah :

$$E_p = (\omega_p^2 r_o^2 - \omega_t^2 r_i^2) \quad (1)$$

Dimana ω = kecepatan sudut (rad/s), r = radius, indeks p , t , o , dan i berturut-turut menunjuk pada pompa, turbin, inlet dan output. Sama halnya dengan pompa, energy spesifik yang dikerjakan fluida pada turbin adalah

$$E_t = (\omega_t^2 r_o^2 - \omega_p^2 r_i^2) \quad (2)$$

Momen yang dibangkitkan ketika fluida mengalir melalui impeller elemen konverter torsi adalah (Artemyeva, dkk 2006) :

$$M_p = \rho (c_{u2p} r_{2p} - c_{u2s} r_{2s}) \quad (3)$$

dan

$$-M_t = \rho (c_{u2t} r_{2t} - c_{u2p} r_{2p}) \quad (4)$$

Dimana : M_p = momen pada impeller pompa, M_t = momen pada impeller turbin, c_{u2} adalah komponen

kecepatan tangensial pada sisi keluar blade impeller, r_2 adalah radius sisi keluar, indeks p , t , dan s menyatakan pompa, turbin dan stator. Karena stator berputar, maka torsi yang sama dengan arah berlawanan akan ditambahkan ke fluida dari system, hal ini berarti bahwa torsi pada impeller turbin sekunder tidak sama dengan yang diberikan oleh pompa (Douglas dkk, 2005). Momen fluida yang melewati stator dinyatakan sebagai :

$$M_s = \rho (c_{u2s} r_{2s} - c_{u2t} r_{2t}) \quad (5)$$

1.2. Karakteristik Converter Torsi.

Karakteristik turbin terdiri dari dua type yaitu karakteristik internal dan karakteristik eksternal. Karakteristik internal adalah hubungan parameter-parameter aliran fluida dalam system. Dalam hal ini hubungan antara head H , debit Q dan Σh_{pot} sebagai fungsi dari ω_2 dan I untuk $\omega_1 = \text{const}$, karakteristik $H=f(Q)$ pada nilai $\omega_1 = \text{const}$, dan lainnya. Pada setiap titik eksternal karakteristik berhubungan dengan titik karakteristik internal. Dari hubungan ini sekaligus dapat ditinjau ketergantungan karakteristik eksternal dari parameter-parameter internal. Untuk $\dot{S}_1 = \text{const}$ dan $Q = \text{const}$ maka nilai head $H_p = \text{const}$, dan H_t dinyatakan sebagai :

$$H_t = A_u \omega_u^2 - A_d \omega_d^2$$

Efisiensi hidrolis dinyatakan sebagai

$$\eta = \frac{H_t}{H_p}$$

Karakteristik eksternal merupakan hubungan parameter-parameter eksternal pada kekentalan dan densitas fluida kerja, putaran dan momen pompa konstan (Artemyeva, dkk 2006). Karena itu karakteristik eksternal turbin dinyatakan dalam ketergantungan M_1 , M_2 , dari rasio kecepatan i , dan ω_2 . Dimana M_1 , M_2 adalah momen pada poros penggerak dan poros beban yang berbeda nilai dengan momen pada blade impeller pompa dan turbin M_p dan M_t .

Dari persamaan (3), karena nilai $c_{u1} = u - c_{m1}$, $u_{s2}=0$, dan luas kanal antar blade impeller $F = 2 \text{ rb}$, maka momen yang dibangkitkan oleh impeller pompa menjadi :

$$M_p = \rho \left[\omega_p r_{p2}^2 + c_{m1} \left(\frac{r_{p2}^2 \beta_{s2}}{F_{s2}} - r_{p2}^2 \beta_{p2} / F_{p2} \right) \right] \quad (6)$$

Dimana $c_{m1} = \omega_p r_{p2} \sqrt{(1 - i^2)(1 - a^2)} / \zeta$ = kecepatan relative, a = rasio radius inlet dan outlet blade impeller.

Sama halnya dengan pompa, dengan mengabaikan kecepatan c_u blade impeller turbin, momen yang dibangkitkan oleh turbin adalah :

$$M_t = \rho \left[\omega_p r_{t2}^2 - \omega_p r_{p2}^2 + Q (r_{p2}^2 \beta_{p2} / F_{p2} - r_{t2}^2 \beta_{t2} / F_{t2}) \right] \quad (7)$$

Daya yang diberikan oleh pompa dan daya yang

dihasilkan oleh turbin ditentukan berdasarkan nilai momen dan kecepatan sudut masing-masing elemen. Efisiensi konverter torsi diberikan oleh persamaan yaitu :

$$=M_t \quad s/M_p \quad p.=T_r.i \quad (8)$$

Momen pada stator dapat mempunyai tanda positif atau negative sesuai dengan design stator dan arah aliran didalamnya.

1.3. Sifat Konverter Torsi dan Nilai Performansinya.

Inti dari converter torsi adaah kemampuan merubah momen putar penggerak pada perubahan momen pada sisi output dan menjamin rezim kerja motor penggerak yang konstan ($\omega_1 = \text{const}$ dan $M_1 = \text{const}$) untuk setiap perubahan beban kerja pada poros beban ($\omega_2 = \text{var}$ dan $M_2 = \text{var}$).

Sifat-sifat transmisi converter torsi, yaitu sifat mengubah nilai momen putar , yang ditunjukkan melalui hubungan $K=f(i)$ yang dapat digambarkan setelah mengetahui $=ff(i)$.

Dengan demikian koefisien transmisi converter torsi adalah (Douglas, dkk 2015) dan (Kyoung Song, dkk 2008):

$$K = T_r = \frac{M_T}{M_p} = 1 + M_F/M_S \quad (9)$$

Dimana M_t = torsi turbin, M_p = torsi pompa, M_s = torsi stator.

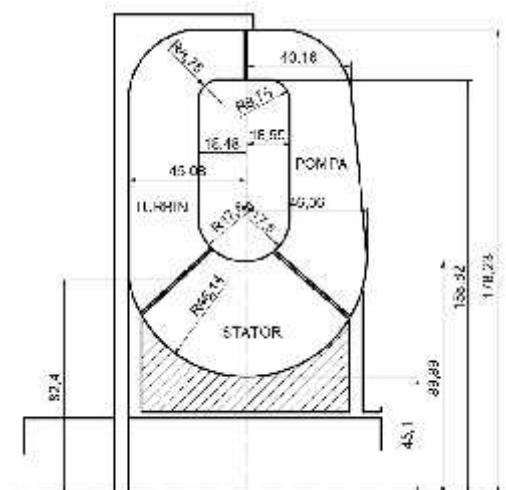
Kapasitas Torsi C_f pada setiap rasio kecepatan digunakan didefinisikan sebagai (Hadi Adibi,dkk 2014).

$$C_f = \frac{\omega_p}{T_E^{c.5}} \quad (10)$$

2. METODE PENELITIAN

2.1. Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian ekperimental pada *stand* pengujian converter torsi (gambar 2).



Gambar 2. Skema Hidrodinamik Transmisi

Spesifikasi adalah sebagai berikut : diameter normal $D_a = 0,35$ meter, yang terbentuk dari pompa, turbin dan stator atau reaktor, seperti gambar 2

Pengujian dilakukan pada nilai putaran n_i dan Q yang disesuaikan dengan kondisi alat ukur yang tidak konstan, dimana putaran poros pompa sama dengan putaran elektromotor. Berdasarkan data putaran beban pengereman, dicatat beban pada poros motor penggerak, dan pada poros turbin, demikian juga dicatat putaran pada poros penggerak dan poros turbin. Selanjutnya digambarkan hasil yang dicapai hubungan torsi, daya, koefisien torsi dan factor kapasitas sebagai fungsi dari rasio putaran i .

2.2. Peralatan Penelitian

Peralatan dan instalasi penelitian sama dengan instalasi uji pada penelitian hydraulic kopling tahun 2015 (W.M. Rumaaherang, dkk 2015). Instalasi uji terdiri dari 4 komponen utama yaitu load balance electromotor, kopling hidrodinamik, beban (rem) dan perangkat alat ukur. Alat-alat ukur terdiri dari dua unti tachometer elektrik yang terpasang pada poros pompa n_1 dan turbin n_2 , alat ukur berat yang terpasang pada lever arm, untuk mengukur beban rotational pada poros pengantar P_1 , dan pada poros benan P_2 . Mamometer board yang terdiri dari 3 manometer yang mengukur tekanan fluida kerja pada sisi pompa dan sisi turbin serta tekanan diatara keduanya pada titik-titik pengukuran yang ditetapkan.

Poros penggerak dikopel dengan poros pengantar yang dipasang pada bantalan-bantalan rol yang tersambung pada kopling mekanik sehingga gaya aksial tidak pada poros poros motor listrik sama dengan nol dan memungkinkan pengukuran gaya-gaya dengan bantuan perangkat lever arm 2a dan dynamometer untuk pengukuran momen rotasional pada poros pompa M_1 .

Poros converter torsi dihubungkan dengan poros beban (rem) dan perangkat ukur berat 2b, yang dipasang pada lever arm untuk pengukuran moment rotational pada poros turbin M_2 .

Gaya – gaya diukur pada keadaan setimbang (diam) dan dalam keadaan bergerak. Gaya-gaya yang tercatat pada instrument pengukur berat untuk kondisi instalasi alam keadaan diam adalah P_{01} dan P_{02} sedangkan hasil pengukuran gaya-gaya pada kondisi kerja instalasi dari pada lever arm penggerak (pompa) dan beban (turbin) masing-masing adalah P_1 dan P_2 yang diatur bervariasi sesuai variasi beban yang telah ditetapkan.

Gaya-gaya aksial A_1 pada poros pengantar dan A_2 pada poros beban diukur dengan rodding (lever transmission) dan spring dynamometer annular menurut petunjuk yang menunjukkan nilai gaya indicator A_{1d} , dan A_{2d} .

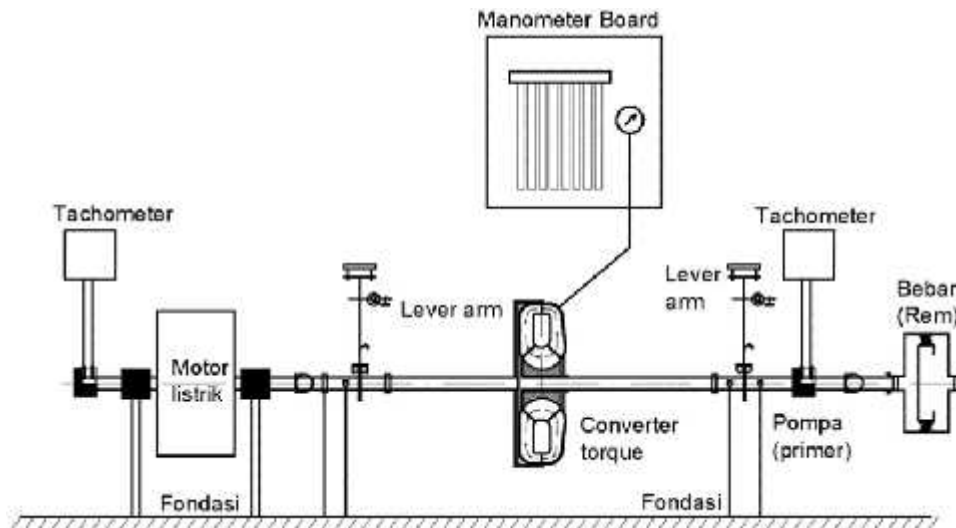
Panjang lever penggerak 2a dan 2b;

perbandingan peralatan leverage pada pengukuran gaya-gaya aksial a/b ; koefisien-koefisien dynamometer c_{d1} , c_{d2} ; besaran-besaran (ketidakseimbangan) luas permukaan pompa F_{p0} dan turbin F_{t0} merupakan parameter-parameter konstanta.

Poros penggerak dan poros beban dihubungkan pada poros pompa dan poros turbin tanpa roda gigi

transmisi, karena putaran penggerak dan pompa $n_1 = n_p$ sedangkan putaran beban (rem) sama dengan putaran turbin $n_2 = n_t$.

Data hasil pengukuran pada berbagai variasi beban digunakan untuk menghitung dan menggambarkan karakteristik kopling hidrodinamik, yang merupakan kurva putaran dan momen sebagai fungsi rasio kecepatan.



Gambar 3. Gambar instalasi pengujian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Experimental data

Pengukuran dilakukan untuk variasi putaran dan beban. Untuk melakukan pengukuran maka perlu ditetapkan beberapa konstanta melalui setup instalasi, yaitu putaran yang diberikan oleh motor listrik adalah konstan $n_1' = 500$ rpm dan beban pada lever arm bagian pompa dan lever arm pada sisi turbin..

Parameter-parameter yang dijaga konstan adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Konstanta-konstanta pengukuran

Koefisien dynamometer pompa c_{d1}	5.16	
turbin c_{d2}	9	
Tekanan awal, Pa	0,5	kg/cm ²
Temperature, t	20 ⁰	
Tekanan pompa (diam), P_{01}	8	kg/cm ²
Tekanan turbin (diam), P_{02}	5,6	kg/cm ²
Diameter impeller pompa dan turbin, d_A	0,35	meter

Radius r_{1p}	0.825	meter
r_{2p}	0.169	meter
r_{1t}	0.169	meter
r_{2t}	0.825	meter
r_{1s}	0.825	meter
r_{2s}	0.825	meter
Lebar blade : b_p	0.027	meter
b_s	0.044	meter
b_t	0.027	meter
Panjang lever arm $L_1 = L_2$	1.2	meter
Kemiringan blade, α	90°	
Putaran motor n_1'	1000	rpm
Kehilangan momen M_p dan M_t		
Untuk $n = 200$	0,05	
$n = 300$	0,10	
$n = 400$	0,15	

Pembebanan secara bertahap pada sisi pompa pada sisi turbin. Pada saat yang sama dilakukan pengukuran putaran, gaya-gaya aksial pada sisi pompa dan turbin.

Pada putaran input yang diberikan diatas ($n_1' = 500$ rpm), sebagaimana dijelaskan bahwa sangat tidak mungkin mengkonstantakan nilai putaran pompa, sehingga nilai putaran pada tachometer 1

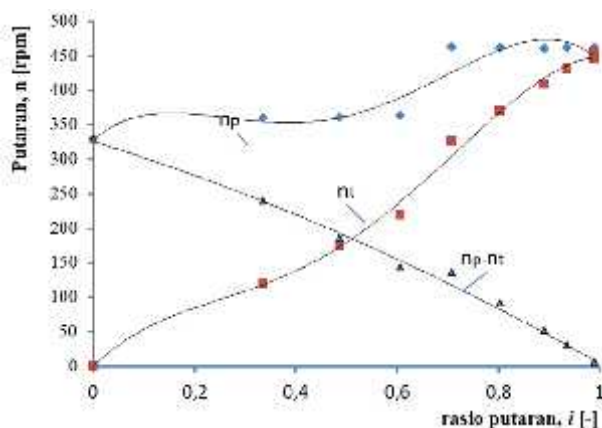
tidak konstan dan bervariasi antara $198,26 < n_1 < 400,73$ yang menggambarkan kondisi tidak stabil. Hasil pengukuran yang ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2. Data hasil pengukuran putaran dan beban

No.	Putaran (pembacaan tachometer)		Beban Kg		Gaya Aksial Kg	
	n_1	n_2	P_1	P_2	A_{1d}	A_{2d}
1	400,73	385,74	6,10	7,50	2,00	1,00
2	400,27	375,75	6,40	7,20	4,00	2,00
3	400,66	360,80	7,00	6,60	8,00	4,50
4	398,68	338,76	8,20	5,62	10,00	5,50
5	400,70	300,40	10,26	3,31	11,00	6,00
6	401,03	256,6	11,10	2,50	9,00	5,00
7	302,19	149,60	10,10	3,50	0	0
8	300,00	105,00	10,50	3,10	-5,00	-3,00
9	298,80	60,46	10,70	2,90	-15,00	-8,50
10	198,26	0	9,27	4,46	-32,0	-18,0

3.2. Perhitungan putaran pada masing-masing komponen

Berdasarkan tabel 2 ditemukan nilai putaran poros output yang dihasilkan converter torsi n_2' dan rasio putaran poros turbin terhadap kecepatan input yang diberikan t/p . Gambar 4 menunjukkan hubungan antara putaran pompa dan turbin serta perbedaan putaran keduanya, yang menunjukkan bahwa putaran turbin selalu lebih kecil dari putaran pompa sebagai penggerak. Kondisi ini disebabkan karena sifat-sifat fisik fluida teristimewa sleep yang terjadi antara impeller pompa dan turbin. Putaran pompa ikut berubah dengan kenaikan putaran turbin. Selisih putaran pompa dan turbin berkurang dengan naiknya rasio tekanan.



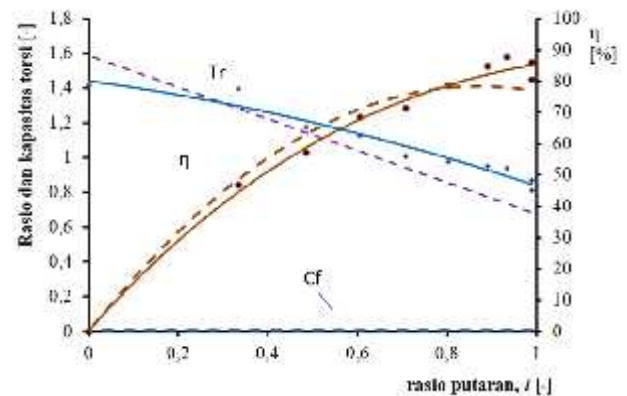
Gambar 4. Perubahan n_p dan n_t sebagai fungsi rasio kecepatan i .

Gambar 4 menunjukkan bahwa untuk rasio kecepatan i bernilai dari 0 sampai dengan 0.96, atau putaran pompa $300 < n_p < 461$ rpm, putaran poros

turbin berkisar antara $0 < n_t < 445$ rpm.

3.3. Karakteristik Energy

Telah diketahui bahwa putaran turbin selalu lebih rendah dari pada putaran pompa. Hubungan putaran turbin dan pompa akan mencapai maksimal pada pembebanan minimum menunjukkan naiknya putaran turbin. Rasio momen berkurang bersamaan dengan kenaikan putaran turbin. Perubahan rasio torsi dan efisiensi yang dihitung berdasarkan persamaan (9) dan (10).



Gambar 5. Perubahan Tr dan C_f dan efisiensi sebagai fungsi rasio kecepatan i .

Gambar 5. menunjukkan karakteristik converter torsi, dimana karena pengaruh kerja fluida, turbin mengalami percepatan dari kondisi diam sampai pada i mendekati nilai i_p .

Torsi yang dibutuhkan menggerakkan turbin maksimum pada nilai rasio kecepatan minimum kemudian menurun dengan naiknya rasio putaran tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa ketika putaran turbin mendekati putaran pompa, maka rasio torsi menjadi lebih kecil. Semakin tinggi putaran turbin, semakin kecil torsi yang dibutuhkan poros beban. Rasio torsi hasil experimental yang ditunjukkan pada gambar 5 mendekati rasio torsi teoritis yang dihitung dengan persamaan (1) sampai persamaan (9), sehingga hasil eksperimen menunjukkan kecenderungan yang sama secara teoritis.

Gambar 5 juga menunjukkan bahwa efisiensi konverter torsi naik sesuai dengan kenaikan rasio putaran. Secara teoritis efisiensi maksimum pada rasio putaran $i = 0.8$, namun dalam penelitian ini efisiensi titik optimal ditemukan pada rasio putaran maksimum.

Kecenderungan perubahan efisiensi berdasarkan persamaan (1) sampai (9) menunjukkan hasil yang sama, namun pada rasio kecepatan 0.2 – 0.8 lebih kecil dari teoritis. Hal dapat dijelaskan dengan kajian pengaruh factor-faktor aliran dalam torus serta kajian konstruksi elemen-elemen converter torsi itu sendiri.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan pembahasan, maka disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Hubungan antara putaran pompa dan turbin serta perbedaan putaran keduanya menunjukkan bahwa putaran turbin selalu lebih kecil dari putaran pompa sebagai penggerak, yang menandakan bahwa terjadi slip antara fluida kerja pada ruang clearance antara impeller dan roda turbin. Pada saat beban output meningkat, maka kecepatan impeller turbin akan melambat.
2. Momen yang dibutuhkan menggerakkan turbin lebih besar, kemudian menurun dengan naiknya rasio putaran. Semakin tinggi putaran turbin, maka torsi yang dibutuhkan poros beban menjadi lebih kecil.
3. Rasio torsi hasil experimental telah mencapai hasil yang mendekati hasil perhitungan teoritis.
4. Efisiensi konverter torsi naik sesuai dengan kenaikan rasio putaran dan mencapai maksimum pada maksimum nilai rasio putaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Hadi Adibi Asl, Nasser Lashgarian Azad and John McPhee, 2014, Math-based torque converter modelling to evaluate damping characteristics and reverse flow mode operation, *Int. J. Vehicle Systems Modelling and Testing*, Vol. 9, No. 1.
- B. S. Kim, S. B. Ha, W. S. Lim And S. W. Cha, 2008, Performance Estimation Model Of A Torque Converter, Part I: Correlation Between The Internal Flow Field And Energy Loss Coefficient. *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 9, No. 2, pp. 141-148
- Joydeep M. Banerjee John J. McPhee, 2012, Graph-theoretic Modeling and Dynamic Simulation of an Automotive Torque Converter, *IFAC Proceedings Volumes*, Volume 45, Issue 2, Pages 1219-1224
- Hadi Adibi Asl, Nasser Lashgarian Azad and John McPhee, Modeling Torque Converter Characteristics in Automatic Drivelines: Lock-up Clutch and Engine Braking Simulation. *12PFL SAE International* – pp 362. https://www.researchgate.net/publication/267489799_Modeling_Torque_Converter_Characteristics_in_Automatic_Drivelines_Lockup_Clutch_and_Engine_Braking_Simulation
- M. B rgl zan, C. Velescu, T. Milo , A. Manea, E. Dobând , Hydrodynamic transmission operating with two-phase flow. *Computational Methods in Multiphase Flow IV. WIT Transactions on Engineering Sciences*, Vol 56, pp.369-378.
- & C. Stroi H. Heinz, 2002, *Advanced Vehicle Technology*, 2nd ed., Elsevier Butterworth-Heinemann,
- Voith Turbo, 2009, *Hydrodynamic Couplings, VOITH engineered reability Principles, Features, Benefits*, Voith Turbo GmbH & Co. KG Crailsheim, Germany, . www.voithturbo.com
- Shoab A. Talukder and B.P. Huynh, 2012, Numerical Study of Performance of a Torque Converter Employing a Power-Law Fluid, *18th Australasian Fluid Mechanics Conference Launceston, Australia*.
- Kyoung Song, Kyusup Kim, JaeIn Park, JaeChang Kook and JongSun Oh, JangHyung Cho, MuSung Kim, Development of the Integrated Process for Torque Converter Design and Analysis, *SAE Technical Paper Series*, 2008, pp 785-793.
- Artemyeva T.V., T.M, Lisenko, S.P. Stesin, 2007. *Gidraulika, Hidromashini I Hidropneumogivod, Izkadatelskiy Tsentre (Akademiya)*, Moskva.
- Douglas John F., Janusz M., John A. Swaffield, Lynne B. Jack, 2005, *Fluid Mechanics*, Fifth Edition, Pearson Prentice Hall.